

FLAME SENSOR

Publication number: JP2003057111

Publication date: 2003-02-26

Inventor: HIRANO HIKARI; AMANO HIROSHI; AKASAKI ISAMU;
KAMIYAMA SATOSHI

Applicant: OSAKA GAS CO LTD

Classification:

- international: G01J1/02; G01J1/04; H01L27/14; H01L31/0232;
H01L31/108; G01J1/02; G01J1/04; H01L27/14;
H01L31/0232; H01L31/102; (IPC1-7): G01J1/02;
G01J1/04; H01L27/14; H01L31/0232; H01L31/108

- european:

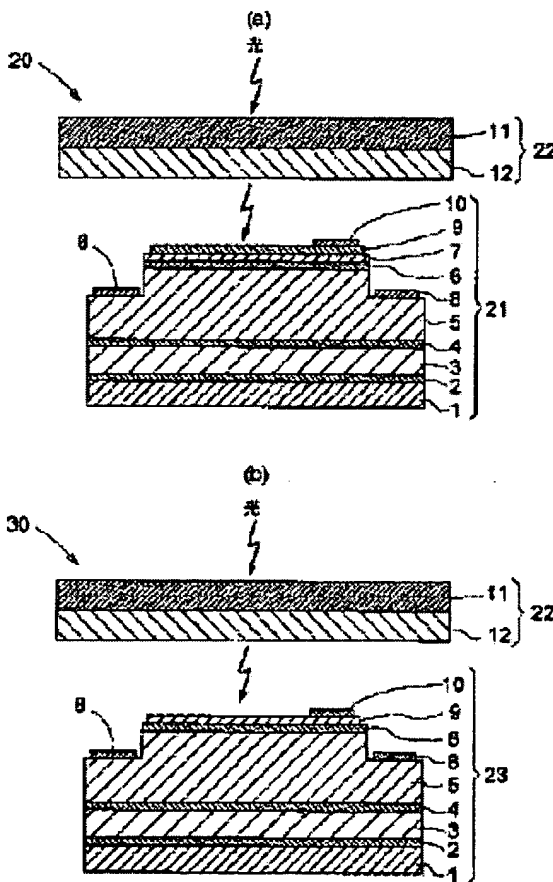
Application number: JP20010249180 20010820

Priority number(s): JP20010249180 20010820

Report a data error here

Abstract of JP2003057111

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a flame sensor whose wave sensitivity is controlled. **SOLUTION:** The flame sensor 20 comprises a filter device 22 constituted by arranging a plurality of filter means 11 and 12 in series with duplication in the progression direction of incidence light, and a photoreceiver 21. In the transmissivity spectrum of synthesized light by a plurality of filter means 11 and 12, the first transmissivity in a detection objective wavelength range is larger than the second transmissivity in a shield wavelength range in longer wavelength side than the detection objective wavelength range. Also, the first sensitivity value in the specific first wavelength in the detection objective wavelength range is in the shield wavelength range and is 10,000 times or more of the value in the second sensitivity in the second wavelength which is longer by 50 nm than the first wavelength.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-57111

(P2003-57111A)

(43) 公開日 平成15年2月26日 (2003.2.26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
G 0 1 J	1/02	G 0 1 J	J 2 G 0 6 6
	1/04		B 4 M 1 1 8
H 0 1 L	27/14	H 0 1 L	C 5 F 0 4 9
	31/0232		D 5 F 0 8 8
	31/108		D

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-249180 (P2001-249180)

(22) 出願日 平成13年8月20日 (2001.8.20)

(71) 出願人 000000284

大阪瓦斯株式会社

大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号

(72) 発明者 平野 光

大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号

大阪瓦斯株式会社

(72) 発明者 天野 浩

愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501 名

城大学内

(74) 代理人 10010/308

弁理士 北村 修一郎

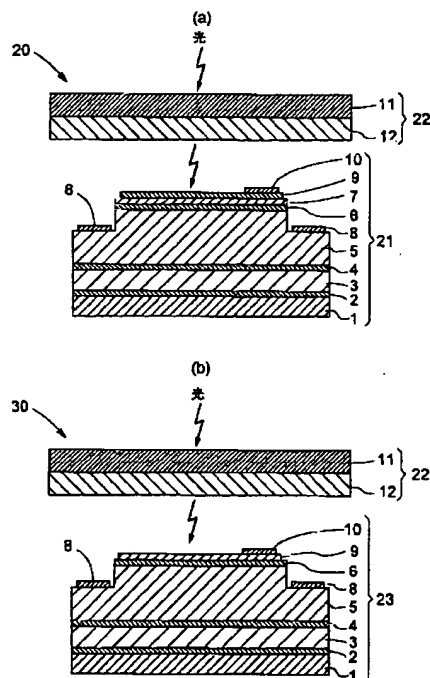
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 火炎センサ

(57) 【要約】

【課題】 波長感度が調整された火炎センサを提供する。

【解決手段】 複数のフィルタ手段11、12を入射光の進行方向に対して直列に重畳して配置することで構成されたフィルタ装置22と、上記フィルタ装置22を通過した光を受光する受光装置21とを備えてなる火炎センサ20が、上記複数のフィルタ手段11、12による合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、上記検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きく、上記検出対象波長にある所定の第1波長における第1感度の値が、上記遮光波長域にあり、上記第1波長より50nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のフィルタ手段を入射光の進行方向に対して直列に重畳して配置することで構成されたフィルタ装置と、前記フィルタ装置を通過した光を受光する受光装置とを備えてなる火災センサであって、前記複数のフィルタ手段による合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、前記検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きく、前記検出対象波長域にある所定の第1波長における第1感度の値が、前記遮光波長域にあり、前記第1波長より50nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上である火災センサ。

【請求項2】 複数のフィルタ手段を入射光の進行方向に対して直列に、部分的に重畳して配置することで構成されたフィルタ装置と、前記フィルタ装置を通過した光を受光する受光装置とを備えてなる火災センサであって、前記受光装置が、下地層構造と、前記下地層構造上に設けられた、それぞれが受光層を含む複数の受光層構造とを備えてなり、前記複数のフィルタ手段が部分的に重畳されることで、前記受光装置側に透過される光の合成光透過率スペクトルが部分的に複数形成され、前記複数の合成光透過率スペクトルに対応して前記受光層構造のそれぞれが配置され、前記複数の合成光透過率スペクトルの内の第1合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、前記検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きく、前記第1合成光透過率スペクトルに対応して配置される受光層構造を含む火災センサの前記検出対象波長域にある所定の第1波長における第1感度の値が、前記遮光波長域にあり、前記第1波長より50nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上であり、前記複数の合成光透過率スペクトルの内の第2合成光透過率スペクトルは、前記第1合成光透過率スペクトルの光に対して、前記検出対象波長域の光を除去可能なフィルタ手段を更に適用することで形成される火災センサ。

【請求項3】 前記第1感度の値が、前記第2感度の値の十万倍以上である請求項1または請求項2に記載の火災センサ。

【請求項4】 前記複数のフィルタ手段の内の1つが、少なくとも波長400nm～700nmの波長範囲における平均透過率が10%以下である特性を有し、前記複数のフィルタ手段の内の他の1つが、少なくとも波長300nm～400nmの波長範囲における平均透過率が30%以下である特性を有する請求項1から請求項3の何れかに記載の火災センサ。

【請求項5】 前記複数のフィルタ手段の少なくとも1

つが色ガラスフィルタであり、他の少なくとも1つが多層膜フィルタである請求項1から請求項4の何れかに記載の火災センサ。

【請求項6】 前記受光装置が、下地層構造と、前記下地層構造上に設けられた、受光層を含む受光層構造とを備えてなる半導体素子であり、前記下地層構造が備える複数の半導体層が、前記下地層構造の結晶状態を改善する複数のバッファ層を備えて構成される請求項1から請求項5の何れかに記載の火災センサ。

【請求項7】 前記受光層が直接ギャップ形の半導体である請求項6に記載の火災センサ。

【請求項8】 前記受光層のバンドギャップエネルギーが3.6eV以上である請求項6または請求項7に記載の火災センサ。

【請求項9】 前記受光層のバンドギャップエネルギーが4.0eV以下である請求項8に記載の火災センサ。

【請求項10】 前記受光層のバンドギャップエネルギーが4.1eV以上である請求項8に記載の火災センサ。

【請求項11】 前記受光層のバンドギャップエネルギーが4.4eV以上である請求項10に記載の火災センサ。

【請求項12】 前記受光層が $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$)を含む請求項6から請求項11の何れかに記載の火災センサ。

【請求項13】 前記受光層構造において、前記受光層における入射光の反射率を低減させる反射防止手段が前記受光層上の入射光側に設けられている請求項6から請求項12の何れかに記載の火災センサ。

【請求項14】 前記反射防止手段が、前記受光層よりも屈折率の小さい光透過層である請求項13に記載の火災センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長選択性を有し、入射光の内の所望の波長範囲の光（検出対象波長域にある光）を選択的に受光することのできる火災センサに関する。

【0002】

【従来の技術】火災センサは、火災からの光に対して良好な感度を有することが求められるが、設置される場所によっては各種照明機器からの光（室内光）や太陽光などが照射されることもあるため、火災の波長範囲に感度を有しつつ、室内光や太陽光の波長範囲においては感度を有さないように構成することが求められる。また、現在はその受光部に直接ギャップ形の半導体を用い、その半導体のバンドギャップエネルギーを調整することで吸収端波長（カットオフ波長）が調整された半導体受光素子が用いられている。ここで、感度（単位はA/W）とは、火災センサに照射される光強度（W）に対して、ど

れだけの光電流(A)が発生したかを示すものであり、発生する光電流が大きいほど感度が高いと言える。

【0003】ここで受光層として直接ギャップ形の半導体を用いるのは、その受光層における光吸収過程が直接遷移によって行われるため、吸収係数の波長特性を調べた場合、その吸収係数が吸収端波長(受光層のバンドギャップエネルギーに相当)で急激に変化し、吸収端波長前後の波長を選択的に分離して光吸収することができるという波長選択性が大きく見られるからである。他方で、受光層として間接ギャップ形の半導体を用いた場合、その受光層における光吸収過程が間接遷移によって行われるために、吸収係数の波長特性は緩やかに変化する。従って、間接ギャップ形の半導体を受光層に用いた場合には、波長選択性が大きく見られない。

【0004】従来、火炎の発光の内紫外域に存在する発光を検出対象とし、その検出対象波長域の発光にのみ感度を有するような火炎センサを構成するために、受光層を覆うように1枚の光学フィルタを設けて検出対象としない光を遮断し、検出対象波長域にある火炎の光のみが受光層に到達するようにしていた。受光層を覆うように光学フィルタを設けた場合の感度は、光学フィルタに照射される光強度(W)に対して、光学フィルタを透過した光を受光した受光層においてどれだけの光電流(A)が発生したかで導出される。従って、光学フィルタの透過率スペクトルを調整することで、受光層に照射される光のスペクトルも調整されることから、結果として得られる火炎センサの波長感度も変えることができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、受光層に直接ギャップ形の半導体を用い、且つ光学フィルタを備えた火炎センサを構成したとしても、各種照明機器からの室内光や太陽光からの光に対して感度を有するという問題を解決するには至らなかった。具体的には、検出対象波長域にある火炎の光と、太陽光および室内光との境界波長域である波長300nm~400nm、更には320nm~400nmの波長範囲において、光の遮断が不十分であること、並びに図3に示すような光学フィルタとしての色ガラスフィルタの透過率スペクトルの立ち上がりが緩やかであることに問題がある。また、受光層となる半導体層自体についても、検出対象波長域にある火炎に対する感度の値が、検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域での感度の値の一万分の一以下の値とさせることができない。その結果、光学フィルタによる遮光が不十分であるために、火炎センサが太陽光や室内光に対して光電流を発生させるという問題があることが分かった。

【0006】光学フィルタとしては、色ガラスフィルタの他に多層膜フィルタと呼ばれるものもあり、図5に示すように特定の波長範囲の光を良好に遮断することがで

き、更にその立ち上がりが急峻である特性を有する。しかし、多層膜フィルタは光の干渉を利用して光を打ち消し合わせるように構成したフィルタであるために、特定の遮断波長範囲以外の光については干渉がほとんど発生せず、広い波長範囲に広がる太陽光のほとんど、特に検出対象波長域にある火炎の光よりも長波長側の光を受光層に入射させてしまうという問題がある。従って、光学フィルタとして多層膜フィルタを1枚だけで用いたとしても要求される波長選択性能を満たすことはできなかった。

【0007】従来は光学フィルタとして色ガラスフィルタが、受光層である直接ギャップ形の半導体層を有する受光素子と共に用いられ、全ての波長域で同じ光強度の光を照射して測定した場合には、遮光波長域での感度が、検出対象波長域にある火炎の光に対する感度の値の百分の一〜一万分の一程度の値にまで感度比を設定することができた。しかし、実際には遮光波長域での光の強度(例えば、波長400nm前後における太陽の光強度)は、検出対象波長域にある火炎の光強度(例えば、波長300nm前後の火炎の光強度)に比べて非常に大きいものとなり、実際の火炎センサの使用状況において得られる遮光波長域での感度は、検出対象波長域にある火炎の光に対する感度の値の百分の一〜千分の一となっていた。

【0008】更に、波長選択性のある1枚の光学フィルタを火炎センサの入射光側に設けたにも拘わらず、光透過率スペクトルの立ち上がりが緩やかであることによって火炎センサが太陽光や室内光に対しても感度を有してしまうのは以下の理由によるものがあることが見出された。

【0009】従来は、光学フィルタを用いたとしても検出対象波長域以外の光が完全には除去されないことを考慮して、光学フィルタを設けると同時に、光学フィルタによって除去しきれなかった光が受光層で吸収されることを防止する目的で、受光層、および受光層を覆う半導体層のバンドギャップエネルギーを所定のカットオフ波長に調整して、それらの半導体層自体を光学フィルタとして作用させて、検出対象波長域よりも長波長の光を完全に除去しようとしていた。しかしながら、それらの半導体層中には欠陥準位などが存在し、その欠陥準位においてはバンドギャップエネルギーに満たないエネルギーの光(検出対象波長域よりも長波長の光)が吸収されることで光電流が発生されていた。その結果、所定のカットオフ波長よりも長い波長の光に対しても感度を有し、完全な波長選択性を達成することができないという問題が生じていた。

【0010】具体的には、受光素子としてのPINフォトダイオードをGa_xN系材料で作製する場合、受光層(i層)よりも入射光側に設けられたp層を構成するp-A_{1-x}Ga_{1-x}N(x>0.2)は結晶品質が悪いため

に上述のような欠陥準位が数多く含まれ、更に3元素混晶であることで、半導体層中の組成比が均一となり難しいという問題が生じる。そのため、p層およびi層のバンドギャップエネルギーを調整して、280nm～330nm付近にカットオフ波長を設けたとしても、そのカットオフ波長から波長400nm程度の間の光に対して、ノイズとなる程度の感度を有してしまうという問題が生じていた。

【0011】このように、従来の光学フィルタを備えて構成された火災センサでは、半導体層中の欠陥準位に起因する感度が問題となることが認識されておらず、その対策も取られていなかった。そのため、検出対象波長域にある火炎の光だけを感度良く検知することのできる火災センサを作製することができていなかった。

【0012】本発明は上記の問題点を鑑みてなされたものであり、その目的は、波長感度が調整された火災センサを提供する点にある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第一の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項1に記載の如く、複数のフィルタ手段を入射光の進行方向に対して直列に重畳して配置することで構成されたフィルタ装置と、前記フィルタ装置を通過した光を受光する受光装置とを備えてなる火災センサであって、前記複数のフィルタ手段による合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、前記検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きく、前記検出対象波長域にある所定の第1波長における第1感度の値が、前記遮光波長域にあり、前記第1波長より50nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上である点にある。

【0014】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第二の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項2に記載の如く、複数のフィルタ手段を入射光の進行方向に対して直列に、部分的に重畳して配置することで構成されたフィルタ装置と、前記フィルタ装置を通過した光を受光する受光装置とを備えてなる火災センサであって、前記受光装置が、下地層構造と、前記下地層構造上に設けられた、それぞれが受光層を含む複数の受光層構造とを備えてなり、前記複数のフィルタ手段が部分的に重畳されることで、前記受光装置側に透過される光の合成光透過率スペクトルが部分的に複数形成され、前記複数の合成光透過率スペクトルに対応して前記受光層構造のそれぞれが配置され、前記複数の合成光透過率スペクトルの内の第1合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、前記検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きく、前記第1合成光透過率スペクトルに対応して配置される受光層構造を含む火災センサの前記検

出対象波長域にある所定の第1波長における第1感度の値が、前記遮光波長域にあり、前記第1波長より50nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上であり、前記複数の合成光透過率スペクトルの内の第2合成光透過率スペクトルは、前記第1合成光透過率スペクトルの光に対して、前記検出対象波長域の光を除去可能なフィルタ手段を更に適用することで形成される点にある。

【0015】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第三の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項3に記載の如く、上記第一または第二の特徴構成に加えて、前記第1感度の値が、前記第2感度の値の十万倍以上である点にある。

【0016】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第四の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項4に記載の如く、上記第一から第三の何れかの特徴構成に加えて、前記複数のフィルタ手段の内の1つが、少なくとも波長400nm～700nmの波長範囲における平均透過率が10%以下である特性を有し、前記複数のフィルタ手段の内の他の1つが、少なくとも波長300nm～400nmの波長範囲における平均透過率が30%以下である特性を有する点にある。ここで、平均透過率とは所定の波長範囲における透過率の単純平均である。

【0017】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第五の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項5に記載の如く、上記第一から第四の何れかの特徴構成に加えて、前記複数のフィルタ手段の少なくとも1つが色ガラスフィルタであり、他の少なくとも1つが多層膜フィルタである点にある。

【0018】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第六の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項6に記載の如く、上記第一から第五の何れかの特徴構成に加えて、前記受光装置が、下地層構造と、前記下地層構造上に設けられた、受光層を含む受光層構造とを備えてなる半導体素子であり、前記下地層構造が備える複数の半導体層が、前記下地層構造の結晶状態を改善する複数のバッファ層を備えて構成される点にある。

【0019】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第七の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項7に記載の如く、上記第六の特徴構成に加えて、前記受光層が直接ギャップ形の半導体である点にある。

【0020】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第八の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項8に記載の如く、上記第六または第七の特徴構成に加えて、前記受光層のバンドギャップエネルギーが3.6eV以上である点にある。

【0021】上記課題を解決するための本発明に係る火災センサの第九の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項9に記載の如く、上記第八の特徴構成に加えて、前記

受光層のバンドギャップエネルギーが4.0 eV以下である点にある。

【0022】上記課題を解決するための本発明に係る火炎センサの第十の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項10に記載の如く、上記第八の特徴構成に加えて、前記受光層のバンドギャップエネルギーが4.1 eV以上である点にある。

【0023】上記課題を解決するための本発明に係る火炎センサの第十一の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項11に記載の如く、上記第十の特徴構成に加えて、前記受光層のバンドギャップエネルギーが4.4 eV以上である点にある。

【0024】上記課題を解決するための本発明に係る火炎センサの第十二の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項12に記載の如く、上記第六から第十一の特徴構成に加えて、前記受光層が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)を含む点にある。

【0025】上記課題を解決するための本発明に係る火炎センサの第十三の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項13に記載の如く、上記第六から第十二の特徴構成に加えて、前記受光層構造において、前記受光層における入射光の反射率を低減させる反射防止手段が前記受光層上の入射光側に設けられている点にある。

【0026】上記課題を解決するための本発明に係る火炎センサの第十四の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項14に記載の如く、上記第十三の特徴構成に加えて、前記反射防止手段が、前記受光層よりも屈折率の小さい光透過層である点にある。

【0027】以下に作用並びに効果を説明する。本発明に係る火炎センサの第一の特徴構成によれば、複数のフィルタ手段による合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きいことから、フィルタ手段を通過して火炎センサの受光装置に入射される光の波長を限定的に選択して、検出対象波長域以外の光が含まないようにすることができる。火炎センサの受光装置によって受光される光が火炎を起源とするものだけであることが確実にされるので、火炎センサの誤検出の可能性を排除することができる。また、火炎センサに設けられる複数のフィルタ手段においては、各フィルタ手段が有する光透過率スペクトルの特性を様々に設定することができることから、結果として得られる合成光透過率スペクトルの設定自由度が高くすることができる。

【0028】更に、検出対象波長域にある所定の第1波長における第1感度の値が、遮光波長域にあり、第1波長より50 nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上にすることができることから、検出対象とする火炎の光のみを高い波長選択性を持って検出することができる。また更に、各半導体層に含まれ、検出対象

波長域以外の光を吸収する欠陥準位の存在に起因して光電流が発生することを防止することができることから、検出対象波長域にある火炎の光が微弱であっても、それを良好に検出することができる。

【0029】本発明に係る火炎センサの第二の特徴構成によれば、複数のフィルタ手段による合成光透過率スペクトルにおいて、検出対象波長域における第1透過率が、検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における第2透過率よりも大きいことから、フィルタ手段を通過して火炎センサの受光装置に入射される光の波長を限定的に選択して、検出対象波長域以外の光が含まないようにすることができる。火炎センサの受光装置によって受光される光が火炎を起源とするものだけであることが確実にされるので、火炎センサの誤検出の可能性を排除することができる。また、火炎センサに設けられる複数のフィルタ手段においては、各フィルタ手段が有する光透過率スペクトルの特性を様々に設定することができることから、結果として得られる合成光透過率スペクトルの設定自由度が高くすることができる。

【0030】更に、検出対象波長域にある所定の第1波長における第1感度の値が、遮光波長域にあり、第1波長より50 nm長波長の第2波長における第2感度の値の1万倍以上にすることができることから、検出対象とする火炎の光のみを高い波長選択性を持って検出することができる。また更に、各半導体層に含まれ、検出対象波長域以外の光を吸収する欠陥準位の存在に起因して光電流が発生することを防止することができることから、検出対象波長域にある火炎の光が微弱であっても、それを良好に検出することができる。

【0031】また更に、上記第1合成光透過率スペクトルに対応して設けられた受光層構造（以下、第1受光層と記す）には、検出対象波長域の光と、遮光波長域において漏れてきた光とが入射され、上記第2合成光透過率スペクトルに対応して設けられた受光層構造（以下、第2受光層と記す）には、遮光波長域において漏れてきた光が入射されることから、第1受光層において発生された光電流から、第2受光層において発生された光電流を減算することで、検出対象波長域にある火炎の光のみに起因して発生された光電流を導出することができる。更に、第1受光層および第2受光層において発生される光電流には、温度変化に対応して発生する熱電子放出に起因する電流成分が含まれているのだが、上述したように光電流の差をとることで熱電子放出に起因する電流成分が相殺され、温度補償を行うことができるという効果も発揮される。従って、火炎のオン・オフの判定精度が高く、高精度な温度補償が可能な火炎センサを容易に構成することができる。

【0032】本発明に係る火炎センサの第三の特徴構成によれば、上記第1感度の値が上記第2感度の値の十万倍以上であることから、受光する検出対象波長域にある

火炎の光が微弱である場合でも、その光によって発生された光電流を、検出対象としない光による光電流と更に明確に区別して検知することができる火炎センサを得ることができる。

【0033】本発明に係る火炎センサの第四の特徴構成によれば、紫外域から可視域の光を良好に遮断することのできるフィルタ手段と、紫外域を特に良好に遮断することのできるフィルタ手段とを組み合わせられたフィルタ装置が用いられるので、受光装置に入射される光は、各種照明機器からの室内光や太陽光に含まれる可視光と紫外光とを良好に遮断しつつ、検出対象波長域にある火炎の光を良好に透過させることができる。特に、各半導体層に含まれ、検出対象波長域以外の光を吸収する欠陥準位による感度波長域（波長300nm～400nm）の光を良好に遮断することができるので、検出対象波長域にある火炎の光に対してのみ光電流が発生するような火炎センサを得ることができる。

【0034】本発明に係る火炎センサの第五の特徴構成によれば、火炎センサに照射された光に対して、色ガラスフィルタと多層膜フィルタとを共に適用しているので、色ガラスフィルタによって特定の波長範囲の光のみを透過させることができ、多層膜フィルタによって、色ガラスフィルタを透過した光の、緩やかに立ち上がる（または立ち下がる）吸収端波長付近の透過率スペクトルを急峻に変化させることができる。つまり、複数のフィルタ手段を透過した後で受光装置に入射される光の透過率スペクトルが特定の波長で急激に変化される、言い換えると、高い波長選択性を有する光学フィルタを構成することができる。

【0035】本発明に係る火炎センサの第六の特徴構成によれば、受光層構造の下地層構造が、下地層構造自身の結晶状態を改善するバッファ層を複数層備えてなることで、その上に堆積される受光層構造の結晶状態も良好なものとすることができる。受光層構造の結晶状態が良好であるということは、層中に欠陥準位を形成する欠陥密度が低いということであり、火炎の波長範囲とは異なる波長範囲に感度を有するようなことが無い。具体的には、受光層の吸収端波長付近における感度が急峻に変化する、つまり受光する波長範囲を限定することができるという波長選択性の高い火炎センサを提供することができる。

【0036】本発明に係る火炎センサの第七の特徴構成によれば、受光層が直接ギャップ形の半導体であることで、受光層は光を直接遷移で吸収する。光吸収過程が受光層における直接遷移によるので、吸収係数の波長特性は吸収端波長（バンドギャップエネルギーに相当）において急峻に変化し、吸収端波長を境として吸収される波長域の光と、吸収されない波長域の光とが明確に分離される。その結果、受光層においても高い波長選択性が発揮されるという効果を得ることができる。

【0037】本発明に係る火炎センサの第八の特徴構成によれば、上記受光層のバンドギャップエネルギーが3.6eV以上であることで、波長約344nm（3.6eV）以下の波長の光、即ち、波長約344nm以下の波長域に現れる火炎の光を上記受光層によって選択的に検出することができる火炎センサを得ることができる。

【0038】本発明に係る火炎センサの第九の特徴構成によれば、上記受光層のバンドギャップエネルギーが3.6eV以上4.0eV以下であることで、波長約310nm（4.0eV）～344nm（3.6eV）の範囲の波長の光、即ち、検出対象波長域にある火炎の光の中でも特に炭化水素を含む化合物を燃焼させた場合に観測されるOHラジカルの発光に起因する発光ピークを良好に検出することができる火炎センサを得ることができる。特に、火炎センサの設置場所がエンジン内部などの閉鎖された空間である場合には、屋外に設置された場合には同時に観測される各種照明機器からの室内光や太陽光といった光が存在することがないため、検出対象波長域にある火炎の光のみを良好に検出することができる。

【0039】本発明に係る火炎センサの第十の特徴構成によれば、上記受光層のバンドギャップエネルギーが4.1eV以上であることで、波長約300nm（4.1eV）以下の波長の光、即ち、検出対象波長域にある火炎の光を上記受光層によって検出することができる火炎センサを得ることができる。更に、波長約300nmを超える波長の光、即ち、各種照明機器などからの室内光に対しては上記受光層が感度を有さないで、検出対象波長域にある火炎の光に対して選択的に感度を有する火炎センサを得ることができる。

【0040】本発明に係る火炎センサの第十一の特徴構成によれば、上記受光層のバンドギャップエネルギーが4.4eV以上であることで、波長約280nm（4.4eV）以下の波長の光、即ち、検出対象波長域にある火炎の光を上記受光層によって検出することができる火炎センサを得ることができる。更に、波長約280nmを超える波長の光、即ち、各種照明機器などからの室内光および太陽光（自然光）に対しては上記受光層が感度を有さないで、検出対象波長域にある火炎の光に対して選択的に感度を有する火炎センサを得ることができる。

【0041】本発明に係る火炎センサの第十二の特徴構成によれば、受光層が $Al_xGa_{1-x}N$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）を含む窒化物半導体からなることで、アルミニウムの組成比 x を調整することで、受光層のバンドギャップエネルギーを任意に設定することができる。その結果、受光層のカットオフ波長が設定され、各種照明機器や太陽光には感度を有さないが、検出対象波長域にある火炎の光に対しては感度を有するような火炎センサを提供することができる。

【0042】本発明に係る火炎センサの第十三の特徴構成

成によれば、受光層上の入射光側に反射防止手段が設けられていることで、反射防止手段を設けていない場合に比べて受光層に入射される光量（エネルギー）を増大させることができる。その結果、受光層における光電変換効率が增大されたことと等価であることから、火炎からの光の強度が弱くても感度良く検出することができるか火炎センサを提供することができる。

【0043】本発明に係る火炎センサの第十四の特徴構成によれば、反射防止手段が、受光層の屈折率よりも小さい屈折率を有する光透過層で構成されることで、その光透過層の化学組成や膜厚などを調整することで、所望の屈折率を有する光透過層を容易に作製することができる。その結果、受光層に対して良好に光を入射させることができる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下に、火炎センサの構成例について図1を参照して説明する。図1(a)および図1(b)に示す火炎センサ20、30は、火炎からの入射光を受光して、光電流を発生させる受光装置21、23と、所望の波長範囲の光を透過または遮断させることのできるフィルタ装置22とを備えて構成される。受光装置には検出対象波長域にある火炎の光に対して応答性のある装置が用いられ、以下の実施形態ではPIN型の半導体素子構造からなる受光装置21と、ショットキーダイオード型の半導体素子構造からなる受光装置23とを例示して説明する。

【0045】まず、図1(a)に示す火炎センサ20は、火炎からの入射光を受光する受光装置21（PIN型）と、所望の波長範囲の光を透過または遮断させることのできるフィルタ装置22とを備えて構成される。受光装置21は、サファイアを用いて構成された基板1の上に第1バッファ層2（低温で堆積させたAlN）と、結晶改善層3（GaN）と、第2バッファ層4（低温で堆積させたAlN）とを順次堆積させることで作製された下地層構造の上に、n型半導体層5（ $n\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ （ $x=0.4$ ））と、アンドープのi型半導体層6（ $i\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ （ $x=0.4$ ））と、p型半導体層7（ $p\text{-GaN}$ ）とが順次堆積されて受光層構造が形成され、n型半導体層5上の一部分に電極8（Ti/Al/Au）がオーミック接触となるように設けられ、p型半導体層7上の一部分には電極9（Ni/Au）と、更に電極9上の一部分に電極10（Au）が設けられて構成されている。また、フィルタ装置22は、第1フィルタ手段11と第2フィルタ手段12とを備えてなる。また、基板1の材料としてはサファイアの他にシリコン（Si）を使用することもできる。

【0046】次に、図1(b)に示す火炎センサ30は、火炎からの入射光を受光する受光装置23（ショットキーダイオード型）と、所望の波長範囲の光を透過または遮断させることのできるフィルタ装置22とを備え

て構成される。受光装置23は、サファイアを用いて構成された基板1の上に第1バッファ層2（低温で堆積させたAlN）と、結晶改善層3（GaN）と、第2バッファ層4（低温で堆積させたAlN）とを順次堆積させることで作製された下地層構造の上に、n型半導体層5（ $n\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ （ $x=0.4$ ））と、アンドープのi型半導体層6（ $i\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ （ $x=0.4$ ））とが順次堆積されて受光層構造が形成され、n型半導体層5上の一部分に電極8（Ti/Al/Au）がオーミック接触となるように設けられ、i型半導体層6上に電極9（Ni/Au）がi型半導体層6に対してショットキー接触となるように設けられ、更に電極9上の一部分に電極10（Au）が設けられて構成されている。また、図1(a)と同様にフィルタ装置22は、第1フィルタ手段11と第2フィルタ手段12とを備えてなる。また、基板1の材料としてはサファイアの他にシリコン（Si）を使用することもできる。

【0047】ここで、受光層となるi型半導体層6が直接ギャップ形のIII-V族窒化物半導体で作製されていることで、i型半導体層6は光を直接遷移で吸収する。従って、上記火炎センサでは、光吸収過程がi型半導体層6における直接遷移によるので、吸収係数の波長特性は吸収端波長（i型半導体層6のバンドギャップエネルギーに相当）において急激に変化し、吸収端波長を境として吸収される波長域の光と、吸収されない波長域の光とが明確に分離される。その結果、i型半導体層6によって高い波長選択性能が発揮されるという効果を得ることができる。

【0048】更に火炎センサに波長選択性を持たせるためには、受光層であるi型半導体層6（ $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ）におけるAlの組成比を調整して、そのバンドギャップエネルギーを所望の値に設定することが行われる。例えば、波長約344nm以下の波長域に広がる検出対象波長域にある火炎の光を選択的に受光することのできる火炎センサを作製したい場合には、i型半導体層6のバンドギャップエネルギーが3.6eV以上となるようにアルミニウム組成比 $x=0.05$ 、或いはそれ以上とすればよい。或いは、約300nm以上の波長域に含まれる、各種照明機器からの光（室内光）を受光せずに、検出対象波長域にある火炎の光を受光するような火炎センサを作製したい場合には、i型半導体層6のバンドギャップエネルギーが4.1eV以上となるようにアルミニウム組成比 $x=0.25$ 、或いはそれ以上とすればよい。また或いは、約280nm以上の波長域に含まれる、太陽光からの光を受光せずに、検出対象波長域にある火炎の光のみを受光するような火炎センサを作製したい場合には、i型半導体層6のバンドギャップエネルギーが4.4eV以上となるようにアルミニウム組成比 $x=0.37$ 、或いはそれ以上とすればよい。

【0049】更に、火炎センサがエンジン内部などの閉

鎖空間に設置された場合には、上述した室内光や太陽光が存在しないため、それらを排除するような大きいバンドギャップエネルギーを設定する必要はない。そのため、検出対象波長域にある火炎の光の中でも特に炭化水素を含む化合物（エンジンで燃焼される燃料）を燃焼させた場合に観測されるOHラジカルの発光に起因する発光ピーク（波長約310nm（310nm±10nm）：4.0eV）の光（波長310nm以上344nm以下の火炎の光）を選択的に受光することのできる火炎センサを作製した場合には、i型半導体層6のバンドギャップエネルギーが3.6eV以上4.0eV以下となるように、アルミニウム組成比xを0.05以上0.23以下とすればよい。

【0050】ここで、上述のi型半導体層6（III-V族窒化物半導体）を成長させる場合、III族元素の供給量に対するV族元素の供給量の比（V/III）が5000以上になるように調整することで、窒化物半導体層中の窒素（N）空孔の数を減少させることができる。窒素空孔はホッピング伝導に寄与するホッピングサイトとなり得ることから、窒素空孔の数が減少することで、得られたi型半導体層6におけるキャリア濃度を約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下という低いレベルにまで調整することができ、良好な量子効率および応答速度を有する半導体素子を得ることができる。ここで、キャリアドーパントとして作用する酸素を成膜系から十分に除去しておけば、キャリア濃度を約 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以下という更に低いレベルにまで調整することができる。尚、V/IIIの値を1000以上として成膜を行った場合、或いはV/IIIの値を500以上として成膜を行った場合にもキャリア濃度を同等のレベルにまで調整することができるが、V/IIIの値を小さくして成膜を行うことで窒素（N）空孔の数を十分に減少させることが出来なかった場合には、微弱な光を検出することが要求される火炎センサとしての使用に問題が発生することもある。例えば、上記ホッピングサイトの存在により暗電流が増大することや、検出対象波長域にある火炎の光を吸収して発生された光キャリアが不純物準位においてトラップされることなどから、検出されるべき光電流が明確に現れない場合がある。

【0051】図2は、火炎センサ20、30に対して入射される火炎の光、太陽光、室内光の各スペクトルを示すグラフである。ここで、室内光は波長約320nm以上の紫外域から可視域の波長範囲に広がり、太陽光は波長約290nm以上の紫外域から可視域の波長範囲に広がり、火炎の光は約200nm～約340nmの波長範囲に広がっている。従って、図示したような室内光および太陽光の紫外域から可視域に広がる波長範囲の光を選択的に遮断し、火炎センサ20、30の受光装置21、23には検出対象波長域にある火炎の光のみが入射されることを確実にするフィルタ装置22を用いる必要がある。

更に、上述したように、波長300nm～400nmの波長範囲の光に対して光電流を発生させるような欠陥準位が火炎センサを構成する半導体層中に含まれることから、その波長範囲の光を更に遮断することで上記波長範囲の光が受光装置に照射されず、ほとんど光電流を発生させないようにさせるフィルタ装置22を用いる必要がある。従って、少なくとも波長400nm～700nmの波長範囲における平均透過率が10%以下である特性を有する第1フィルタ手段11と、少なくとも波長300nm～400nmの波長範囲における平均透過率が30%以下である特性を有するようなフィルタ手段12という少なくとも2つのフィルタ手段11、12をフィルタ装置22が備えていることが好ましい。

【0052】以下の図3～図6を参照して、フィルタ装置22が備える第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12の例について、それぞれの透過率特性のグラフを用いて説明する。

【0053】図3に示すのは、HOYA株式会社から販売されている光学フィルタ（色ガラスフィルタ）の透過率特性であり、例として、U-330、U-340、U-350、およびU-360と表記される光学フィルタの透過率特性を示す。ここで、各光学フィルタに付記された数字は、透過率が最高になる波長を表している。図示するような波長選択性を有する光学フィルタを用いて光を透過させることで、特定の波長範囲の光の光強度が好適に低減される。例えば、U-330の透過率特性に着目すると、透過ピークの短波長側の透過限界波長が約210nmに位置し、長波長側の透過限界波長が約425nmに位置することから、波長210nm～425nmの範囲以外の光の光強度が低減される。更に、波長280nmにおいて透過率が30%を超えており、波長270nm～波長370nmの範囲において透過率が70%を超えており、波長280nm～波長300nmの範囲において透過率が80%を超えていることから、火炎の光の波長範囲（200nm～340nm）の光は、その強度がほとんど低減されること無しに光学フィルタを透過することができる。

【0054】しかし、透過率スペクトルの立ち上がりが緩やかであり、且つ透過率スペクトルの裾が尾を引いていることから、U-330を用いた場合には波長400nm付近の太陽光や室内光を完全に遮断することができず、受光層が検出対象波長域にある火炎の光だけを受光するように、そのバンドギャップエネルギーを調整したとしても、受光層では波長300nm～400nmの範囲の光を受光するような欠陥準位が存在することによって太陽光や室内光が吸収され、光電流が発生されることとなる。

【0055】色ガラスフィルタを用いて光の透過率を下げるためには、含まれる不純物を増加させることや、厚さを増大させることを行えばよい。しかし、この方法で

は、透過率の低いガラスを使用しているために、特定の波長範囲の光のみの透過率を下げることはできず、全体的な波長範囲において透過率の低下を招く。従って、火炎の発光の内紫外域に存在する発光を検出対象とする場合、検出対象波長における透過率と、検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における透過率との比は2桁程度である。

【0056】図4に示すのは、HOYA株式会社から販売されている別の光学フィルタ（色ガラスフィルタ）の透過率特性であり、例として、UV-28、UV-30、UV-32、UV-34、UV-36と表記される光学フィルタの透過率特性を示す。ここで、各光学フィルタに付記された数字は、透過限界波長の1/10の数字に相当しており、UV-28であれば透過限界波長が280nmであることを示している。ここで、UV-28は燐酸塩ガラスなどを用いて作製され、UV-30、UV-32、UV-34、UV-36は珪酸塩ガラスなどを用いて作製される。この色ガラスフィルタは、図3に示したフィルタと異なり、透過率限界波長よりも短波長側の光を遮断し、長波長側の光を透過させる単純な特性を有している。

【0057】図5および図6に示すのは、朝日分光株式会社から販売されている光学フィルタ（多層膜フィルタ）の透過率特性であり、例として、UV300（図5）とUV325（図6）と表記される光学フィルタの透過率特性を示す。多層膜フィルタとは、複数枚のガラスを積層することで入射光に干渉を生じさせ、特定の波長範囲の光をその干渉によって打ち消すことで高い波長選択性を示すように構成されたフィルタである。透過率特性のグラフには光の干渉を利用していることを示す干渉縞が現れており、その干渉の効果として特定の波長範囲においては透過率を極めて小さくすることができる。

【0058】図5および図6中から明らかであるように、透過率スペクトルが極めて急峻に変化し、高い波長選択性を示すことが分かる。例えば、UV300では、波長325nm～370nmの波長範囲の透過率がほぼ零であり、UV325では、波長340nm～390nmの波長範囲の透過率がほぼ零であり、更に立ち上がりは極めて急峻である。干渉によって打ち消される光の波長範囲を調整するには、積層するガラスの厚さを調整すればよい。

【0059】多層膜フィルタは、弗化マグネシウム、SiO₂、アルミナ等の紫外域においても透過率の高い材料を複数枚重ねて構成される。その原理は、所定の厚さの材料を重ねて構成することで、それらの間で光の干渉が生じ、特定波長の光が打ち消されるというものである。従って、特定の波長範囲の光の透過率を下げるためには、多数の材料を重ねて、何度も干渉を生じさせることで、光を何度も打ち消し合わせればよい。この場合、上述のような透過率の高い材料を使用していることか

ら、干渉が生じない波長範囲の光の透過率は高いまま維持され、その結果、検出対象波長における透過率と、検出対象波長域よりも長波長側にある遮光波長域における透過率との比が5桁程度になるまで設定することができる。

【0060】以上のことから、第1フィルタ手段11に色ガラスフィルタであるU-330を用い、第2フィルタ手段12に多層膜フィルタであるUV300を用いた場合、第1フィルタ手段11において入射光の内の波長約400nm以下、且つ波長約700nm以上の波長範囲の光が遮断され、第2フィルタ手段12によって、波長320nm～波長380nmの波長範囲の光をほぼ完全に遮光することができることから、第1フィルタ手段11と第2フィルタ手段12とを組み合わせ用い、受光層（i型半導体層6）のバンドギャップエネルギーを所定のカットオフ波長に設定しておくことで波長300nm以下の光が効果的に遮光されるという効果が発揮される。その効果の具体例について以下の図7および図8を参照して説明する。

【0061】図7には、火炎センサの代わりとなるフォトダイオードの受光面に（A）フィルタ手段を設けていない場合、（B）第1フィルタ手段11（U-330）のみを設けた場合、並びに（C）第1フィルタ手段11（U-330）および第2フィルタ手段12（UV300）を設けた場合の波長感度（A/W）を示す。フィルタ手段を設けていない場合（A）は、受光層として用いられる直接ギャップ形の半導体層のバンドギャップエネルギーを調整したことによるカットオフ波長（バンドギャップエネルギーに対応する波長）を境に感度の比が見られるが、その感度比は、上記カットオフ波長における第1感度と、上記カットオフ波長から50nmだけ長波長側の波長における第2感度との間で3桁（千分の一）程度である。従来と同様に第1フィルタ手段11のみを設けた場合（B）、検出対象波長域以外の光を選択的に遮光することで、検出対象波長域にある火炎の光に対する感度（詳細には、カットオフ波長における感度）と、検出対象波長域以外の光に対応し、上記カットオフ波長から50nmだけ長波長側の波長における感度との比を約3桁（千分の一）～4桁（一万分の一）にまで向上させることができる。しかし、実際には検出対象波長域以外の光に対応する波長範囲の光強度（例えば、波長400nm前後における太陽の光強度）は、検出対象波長域にある火炎の光の光強度に比べて非常に大きいものとなることから、検出対象波長域以外の光を受光して発生される光電流も大きくなり、微弱な火炎の光を受光して発生された光電流を区別して検知することは困難であった。

【0062】次に、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12を設けた場合（C）、検出対象波長域にある火炎の光（受光層のカットオフ波長に対応する波長約270nm前後）における感度の値を、検出対象波長

域以外の光に対応する波長（受光層のカットオフ波長よりも50nmだけ長波長側の波長約320nm前後）における感度の値の約4桁以上（一万倍以上）にまで向上させることができています。更に好ましくは、検出対象波長域にある火炎の光（波長約270nm前後）における感度の値を、検出対象波長域以外の光に対応する波長範囲（波長約320nm前後またはそれ以上の波長範囲）における感度の値の約5桁以上（十万倍以上）にまで向上させることができています。その結果、検出対象波長域以外の光を受光して発生される光電流を極めて小さくさせることができ、微弱な火炎の光を受光して発生された光電流を区別して検知することが可能となった。

【0063】更に、図8は、図7に示した3つ（A～C）の場合の、全ての波長範囲において積分された光電流値を火炎の光を照射した場合と照射していない場合について示したグラフである。ここでは、室内光の存在下で火炎の光を一定期間だけ点灯させてフォトダイオードに照射したのだが、火炎の光を照射した際には、フィルタ手段の有無に拘わらず光電流が発生され、火炎の光を検知できていることが分かる。他方で、火炎の光を照射していない場合、即ち室内光のみが火炎センサに照射されている際には、フィルタ手段を備えていない場合

（A：破線で示す）では室内光に対して感度を有するため光電流が発生されている。同様に、第1フィルタ手段11のみを備えている場合（B：一点破線で示す）では、弱いながらも室内光に対して感度を有していることが分かる。従って、上述のAおよびBの場合には、火炎センサとしての波長選択性が不十分であると言える。

【0064】具体的には、図中から分かるように、図7および図8の（B）に示した従来型の受光装置（ここでは便宜的にフォトダイオードを用いた）では、フィルタ手段を用いて検出対象波長域にある火炎の光のみを選択的に受光しようとしていたが、波長320nm以上の波長範囲の光（ここでは室内光）に対して感度が極めて低い受光装置を作製しているとは言えなかった。

【0065】他方で、第1フィルタ手段（U-330）11および第2フィルタ手段（UV300）12を備えている場合（C：実線で示す）では、火炎を点灯させていない期間は、観測される光電流は零であり、室内光を良好に遮断できていることが分かる。従って、火炎センサを構成する各半導体層に含まれる欠陥準位により発生される光電流を非常に小さくすることができていることで、非常に高精度な火炎センサを構成できることが分かる。

【0066】＜別実施形態＞

＜1＞以上の実施形態では、1つの火炎センサには受光層構造が1つだけ設けられていたが、以下の別実施形態では1つの火炎センサに、同一の受光層構造が複数（ここでは2つ）設けられた場合について説明する。

【0067】図9に示す火炎センサ40は、火炎からの

入射光を受光する受光装置24と、所望の波長範囲の光を透過または遮断させることのできるフィルタ装置25とを備えて構成される。以下の実施形態ではショットキダイオード型の半導体素子構造からなる受光装置25を例示して説明するが、他のPIN型の半導体素子などの半導体素子構造を用いてもよい。

【0068】上述の実施形態では、フィルタ装置として、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12とを、受光装置の入射光側に入射光に対して直列に重畳して配置していたが、以下の別実施形態では、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12に加えて、第3フィルタ手段を、受光装置の入射光側に入射光に対して直列に部分的に重畳して配置している。その結果、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12だけを通過した光が受光装置24に入射する区域と、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12に加えて第3フィルタ手段13を通過した光が受光装置24に入射する区域とが形成される。

【0069】図9に示すように、受光装置24は、サファイアを用いて構成された基板1の上に第1バッファ層2（低温で堆積させたAlN）と、結晶改善層3（Ga_{0.4}N）と、第2バッファ層4（低温で堆積させたAlN）とを順次堆積させることで作製された下地層構造の上に、n型半導体層5（n-Al_{1-x}Ga_xN（x=0.4））と、アンドープのi型半導体層6A、6B（i-Al_{1-x}Ga_xN（x=0.4））とが順次堆積されて受光層構造が形成され、n型半導体層5上の一部分に電極8（Ti/Al/Au）がオーミック接触となるように設けられ、i型半導体層6A、6B上の一部分に電極9A、9B（Ni/Au）と、更に電極9A、9B上の一部分に電極10A、10B（Au）とが設けられて構成されている。

【0070】図示するように、受光層構造は複数個設けられており、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12だけを通過することにより、合成透過率スペクトルがYとされた光が入射する受光層構造（参照番号にBを付加する）と、第1フィルタ手段11および第2フィルタ手段12に加えて第3フィルタ手段13を通過することにより、合成透過率スペクトルがXとされた光が入射する受光層構造（参照番号にAを付加する）とがある。また、基板1の材料としてはサファイアの他にシリコン（Si）を使用することもできる。

【0071】上述の実施形態と同様に、第1フィルタ手段11としては図3に示したU-330を使用し、第2フィルタ手段12としては図5に示したUV325を使用した。また、第3フィルタ手段13としては図4に示したUV-28を使用した。合成光透過率スペクトルXは、合成光透過率スペクトルYの光に対して第3フィルタ手段13を適用することで形成される。第3フィルタ手段13（UV-28）は、火炎の光を含む波長280

nm～波長290nm以下の光を遮断することができることから、合成光透過率スペクトルXには検出対象波長域以外の光が含まれ、合成光透過率スペクトルには検出対象波長域にある火炎の光と、検出対象波長域以外の光とが含まれていると言える。

【0072】以上のように、上記合成光透過率スペクトルXに対応して設けられた受光層構造には検出対象波長域にある火炎の光と検出対象波長域以外の光とが入射され、合成光透過率スペクトルYに対応して設けられた受光層構造には検出対象波長域以外の光が入射されることから、受光層6Aにおいて発生された光電流 I_A から、受光層6Bにおいて発生された光電流 I_B を減算することで、検出対象波長域にある火炎の光のみに起因して発生された光電流 I （火炎）を導出することもできる。但し、第3フィルタ手段13（UV-28）によって、火炎の光を含む波長280nm～290nm以下の光だけでなく、検出対象波長域以外の光についても10%程度は遮断されてしまうため、光電流 I_B に所定の係数をかけて補正を行った値を光電流 I_A から減算することで、以下の数1に示すように、求める検出対象波長域にある火炎の光による光電流 I （火炎）を導出することができる。下記の数1において係数 f は、上述したように第3フィルタ手段13によって検出対象波長域以外の光の10%が遮断される場合には $f=1.1$ である。

【0073】

【数1】 I （火炎） $= I_A - I_B \times f$

【0074】更に、受光層6Aおよび受光層6Bにおいて発生される光電流には、温度変化に対応して発生する熱電子放出に起因する電流成分が含まれているのだが、上述したように光電流の差をとることで熱電子放出に起因する電流成分が相殺され、温度補償を行うことができるという効果も発揮される。従って、火炎のオン・オフの判定精度が高く、高精度な温度補償が可能な火炎センサを容易に構成することができる。

【0075】＜2＞以上のように複数のフィルタ手段を備えて構成されたフィルタ装置を用いて検出対象波長域にある火炎の光を選択的に取り出して受光装置側に入射させることを行ったが、受光装置を構成する受光層であるi型半導体層6の表面で光が反射されることがあり、それを防止するような反射防止機能を受光装置に備えさせることについて図10を参照して説明する。

【0076】図10（a）は、反射防止機能を備えた受光装置の構成図であり、図10（b）は図10（a）に示した反射防止機能部分の説明図であり、図10（c）は反射防止機能を備えていない場合の比較例の説明図である。

【0077】まず、図10（a）に示す火炎センサ50は、火炎からの入射光を受光する受光装置26（ショットキーダイオード型）と、フィルタ装置22とを備えて構成される。受光装置26は、サファイアを用いて構成

された基板1の上に第1バッファ層2（低温で堆積させたAlN）と、結晶改善層3（GaN）と、第2バッファ層4（低温で堆積させたAlN）とを順次堆積させることで作製された下地層構造の上に、n型半導体層5（ $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $x=0.4$ ））と、アンドープのi型半導体層6（ $i\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $x=0.4$ ））とが順次堆積されて受光層構造が形成され、n型半導体層5上の一部分に電極8（Ti/Al/Au）がオーミック接触となるように設けられ、同様にi型半導体層6上には電極9（Ni/Au）がオーミック接触となるように設けられ、更に電極9上の一部分に電極10（Au）が設けられて構成されている。そして、電極9上の電極10が設けられていない部分に、光透過層14が設けられている。ここで、電極9は極めて薄く形成されており、その結果、照射された検出対象波長域にある火炎の光が電極9を透過して受光層であるi型半導体層6に良好に入射される。また、図1（a）と同様にフィルタ装置22は、第1フィルタ手段11、第2フィルタ手段12を備えてなる。また、基板1の材料としてはサファイアの他にシリコン（Si）を使用することもできる。

【0078】ここで使用した光透過層11は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）であり、原子の組成を異ならせることで屈折率を調整することができる。他にも、弗化マグネシウム（ MgF_2 ）、弗化カルシウム（ CaF_2 ）、二酸化珪素（ SiO_2 ）等を用いることができる。尚、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を用いた場合には、各半導体層と同じ成膜プロセスにおいて作製できるという利点がある。

【0079】図10（b）は、図10（a）に示した受光装置26中の半導体構造に備えられた反射防止機能部分を説明する図である。図中では、空気中の屈折率を n_0 、光透過層14の屈折率を n_1 （ $n_1 > n_0$ ）、i型半導体層6の屈折率を n_2 （ $n_2 > n_1$ ）としている。尚、電極9は極めて薄く形成されていることから、ここでは考慮しない。更に、比較例として図10（c）には、反射防止機能が備わっていない場合の反射について説明する。

【0080】まず、図10（a）および図10（b）に示すように、受光層6と光透過層14が設けられ、上記光透過層14が空気中に露出している場合と、光透過層14が設けられておらず、受光層6が空気中に露出している場合の2例について、受光層6に垂直に入射する入射光に対する反射率 R_1 および R_2 を以下の数1および数2に示す。尚、 n_0 、 n_1 、 n_2 はそれぞれ、空気中、光透過層中、受光層中の屈折率である。ここで、光透過層14の膜厚 d_{14} は、入射光の四分の一波長を自身の屈折率で割った値： $d_{14} = \lambda$ （入射光）/ $4n_1$ に設定される。尚、入射光の波長とは、透過させたい光の波長であり、例えば、260nm～280nmの波長である。

【0081】

【数2】

$$R_1 = (n_0 \cdot n_2 - n_1)^2 / (n_0 \cdot n_2 + n_1)^2$$

【0082】

【数3】 $R_2 = (n_0 - n_2)^2 / (n_0 + n_2)^2$

【0083】ここで、受光層におけるAlとGaとの組成比xが0.35で、光透過層14におけるAlとGaとの組成比yが1.00、つまりAlNである場合、各屈折率は $n_0=1.0$ 、 $n_1=2.22$ 、 $n_2=2.7$ となる。更に、光透過層14の層厚は、入射光の四分の一の波長を光透過層14の屈折率で除算した値、即ち0.4nmとする。尚、受光層6と光透過層14の屈折率は概算値である。以上のことから、光透過層14を設けた場合の反射率 R_1 と、設けなかった場合の反射率 R_2 とは、それぞれ $R_1=8.5\%$ 、 $R_2=21.1\%$ となる。従って、光透過層14を設けた場合は、設けなかった場合に比べて光導電作用に寄与する光エネルギーは約16%増加することになり、実効的に火炎センサ50の光電変換効率を約16%増大させることができたことになる。

【0084】<3>基板上に半導体層を堆積させる場合、基板の格子定数と半導体層の格子定数とが異なるために、半導体層の結晶状態が乱れ、格子欠陥が発生することがある。この結晶状態の乱れは、更に上方に堆積される半導体層の結晶状態をも悪化させるため、基板と受光層との間に他の半導体層が設けられていても、受光層の結晶状態には乱れが生じ、好ましくない波長域の光吸収に寄与する準位を受光層中に形成することになる。そのような問題点を鑑みて上述の実施形態ではダブルバッファを含む下地層構造上に受光層構造を形成した。

【0085】以上の実施形態においては、受光装置の下地層構造が、その結晶状態を改善する目的で設けられた複数のバッファ層を含んでいるが、その効果を図11を参照して説明する。図11には下地層構造上に受光層構造が形成された半導体素子の受光感度の波長依存性を示すグラフを示すが、図中の(a)で示す実線は上述の実施形態において説明したような複数のバッファ層を備えた場合(ダブルバッファ)、(b)および(c)の破線は比較例として1つのバッファ層を備えた場合(シングルバッファ)の測定結果である。詳細には、(a)の測定結果はダブルバッファの下地層構造の上にPIN型(電極/p-GaN/i-AlGaAs/n-AlGaAs)の受光層構造を形成した場合の結果であり、(b)の測定結果はシングルバッファの下地層構造の上にショットキー型(電極/n-AlGaAs)の受光層構造を形成した場合の結果であり、(c)の測定結果はシングルバッファの下地層構造の上にショットキー型(電極/n-AlGaAs)の受光層構造を形成した場合の結果である。

【0086】下地層構造が複数のバッファ層を備えて構成された場合(a)の受光感度は、吸収端波長付近で急峻な変化を示しているが、これは、複数のバッファ層を

設けることでその上方の半導体層の結晶状態が良好なものとなり、その結果、受光層の結晶状態を良好なものとすることができた(欠陥準位が含まれないようにした)効果であると言える。他方で、下地層構造が1つのバッファ層を備えて構成された場合((b)および(c))の受光感度は、吸収端波長付近で緩やかな変化を示しており、これは、下地層構造における結晶状態の改善が不十分であるために、受光層の結晶状態の改善も不十分となり、その結果、受光層に好ましくない波長域の光の吸収に寄与する欠陥準位が発生したことによる影響であると言える。

【0087】以上のように、上述の実施形態では複数のバッファ層を備えた下地層構造の上方に受光層が形成されたことから、吸収端波長の前後で受光感度が急激に変化する受光装置を得ることができた。その結果、上述のように、受光装置に対して複数のフィルタ手段を適用することで、吸収端波長前後での感度差を更に大きくすることができる(受光する波長域を限定して、微弱な火炎の光を選択的に検出することができる)火炎センサを得ることができた。他方で、1つのバッファ層を備えて構成された下地層構造の上方に受光層を形成した場合には、フィルタ手段を適用したとしても、吸収端波長前後での感度曲線が緩やかなまとなり、受光する波長域の限定を十分に行うことができず、微弱な火炎の光のみを選択的に検出することが困難となる。

【0088】<4>上述の実施形態では、受光装置としてPIN型およびショットキーダイオード型の素子を例に挙げて説明したが、本願発明は受光装置(半導体素子)の構造に限定されるものではなく、アバランシェフォトダイオードや、他の様々な半導体素子を使用した様々な受光装置に対して適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)および(b)は、火炎センサの断面図の例である。

【図2】火炎の光、太陽光、および室内光のスペクトルを示すグラフである。

【図3】色ガラスフィルタの透過率特性を示すグラフである。

【図4】色ガラスフィルタの透過率特性を示すグラフである。

【図5】多層膜フィルタの透過率特性を示すグラフである。

【図6】多層膜フィルタの透過率特性を示すグラフである。

【図7】フィルタ手段を設けた場合と設けていない場合における火炎センサの感度分布の測定結果を示すグラフである。

【図8】フィルタ手段を設けた場合と設けていない場合における光電流の測定結果を示すグラフである。

【図9】火炎センサの断面図の例である。

【図10】(a)は、反射防止機能を備えた受光装置の構成図であり、(b)は(a)に示した反射防止機能を備えた場合の説明図であり、(c)は反射防止機能を備えていない場合の比較例の説明図である。

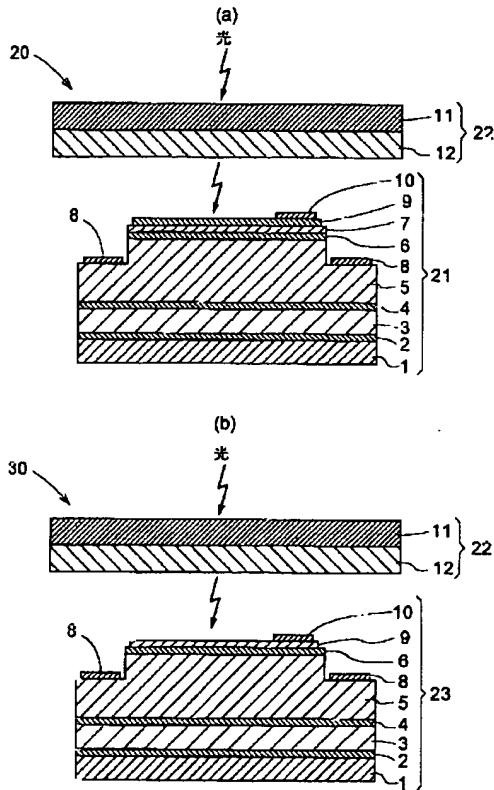
【図11】受光装置の感度の波長依存性を示すグラフである。

【符号の説明】

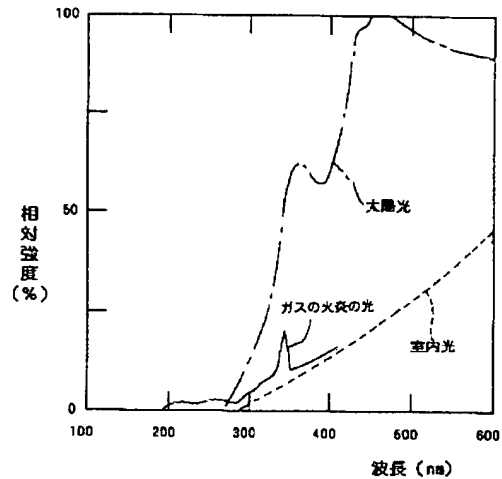
- 1 基板
- 2 第1バッファ層
- 3 結晶改善層
- 4 第2バッファ層
- 5 n型半導体層
- 6 i型半導体層(受光層)
- 7 p型半導体層
- 8 電極
- 9 電極

- 10 電極
- 11 第1フィルタ手段
- 12 第2フィルタ手段
- 13 第3フィルタ手段
- 14 光透過層
- 20 火炎センサ
- 21 受光装置
- 22 フィルタ装置
- 23 受光装置
- 24 受光装置
- 25 フィルタ装置
- 26 受光装置
- 30 火炎センサ
- 40 火炎センサ
- 50 火炎センサ

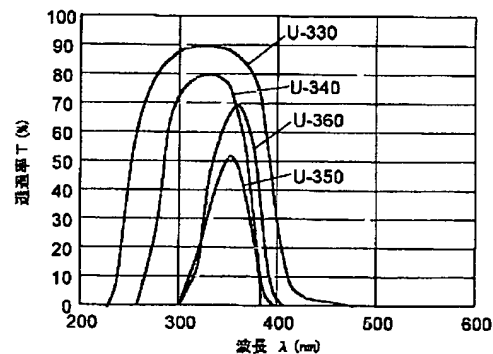
【図1】



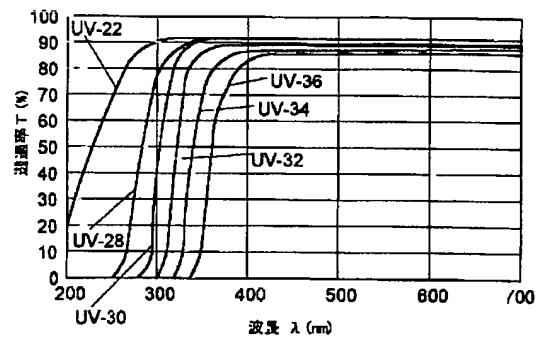
【図2】



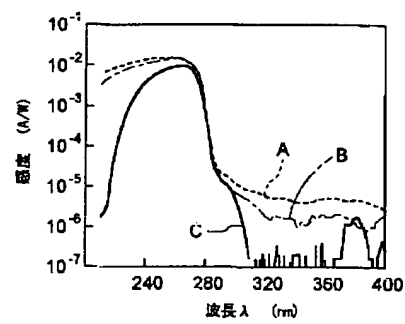
【図3】



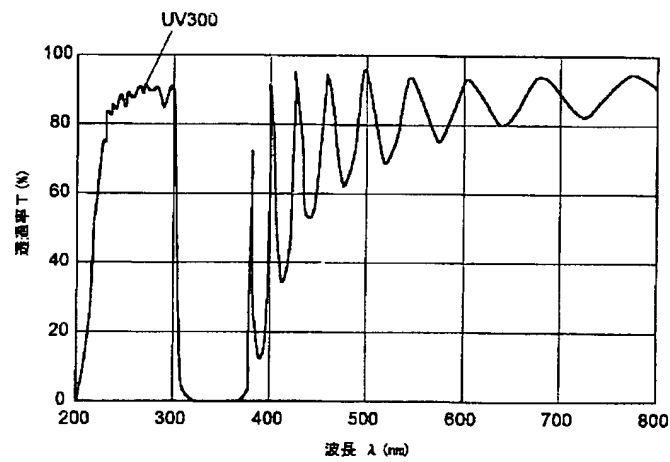
【図4】



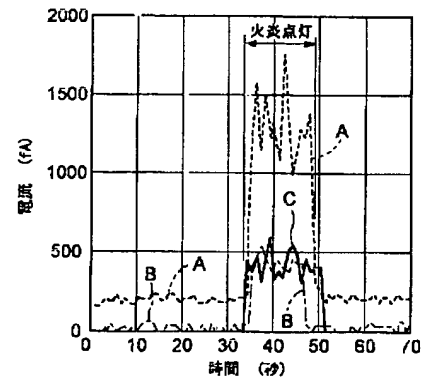
【図7】



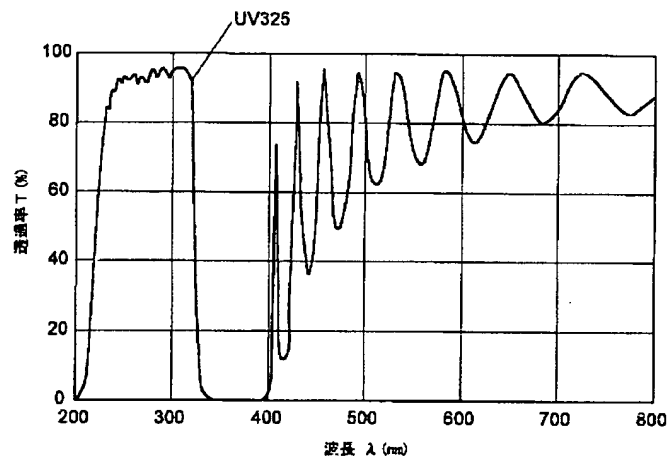
【図5】



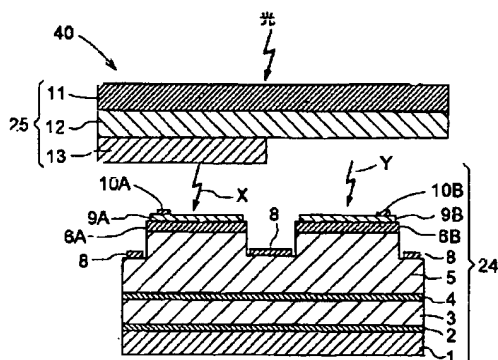
【図8】



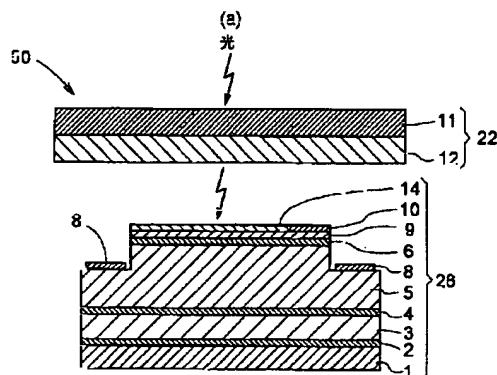
【図6】



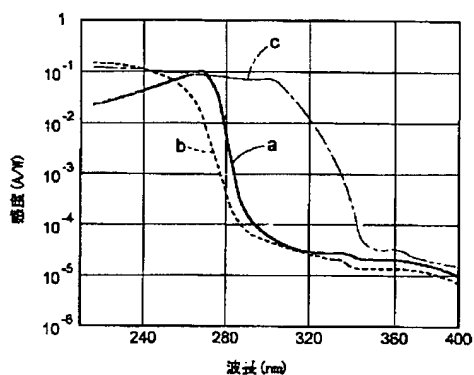
【図9】



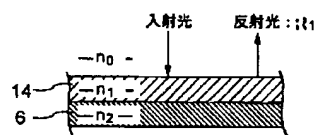
【図10】



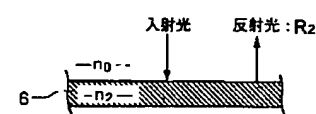
【図11】



(b)



(c)



フロントページの続き

(72)発明者 赤崎 勇
愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学内
(72)発明者 上山 智
愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501 名城大学内

Fターム(参考) 2G065 AB05 BA09 BB26 BB27 CA08
DA06 DA20
4M118 CA06 GC01 GC07 GC13 GC20
5F049 MA04 MA05 MB07 NB07 QA20
SS01 TA13 WA05
5F088 AA03 AA04 AB07 BB06 DA20
FA05 GA02 JA13 LA05